

Мультиагентная навигация и интеллектуальное управление движением роботов в динамической среде с препятствиями

А.В.Тимофеев

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН

tav@iiias.spb.su

Введение

За последние годы в мире резко возрос интерес к проблемам групповой навигации и интеллектуального управления движением интеллектуальных мехатронных роботов как агентов сложных мультиагентных робототехнических систем (МАРС), коллективно решающих общую задачу. Среди первых международных проектов по теории и применению МАРС, в которых принимал участие автор, отметим проект № ICI-СТ96-0702 “Multi-Agent Robot Systems for Industrial Application in the Transport Domain” по Европейской программе COPERNICUS, НАТО-грант № PST.CLG 975559 “Man-Machine Computer Assisted Surgical Systems” и грант РФФИ-ГФЕН Китая № 99-01-39124 “Basic Research for Intelligent Control of Autonomous Mobile Machines and Robots”.

Рассмотрим основные этапы и перспективы развития робототехники, мехатроники и мультиагентных технологий с позиций системного анализа и теории групповой навигации и интеллектуального управления движением.

1. Архитектура интеллектуального робота как агента МАРС

Интеллектуальный робот как агент МАРС представляет собой автоматическую систему, состоящую из следующих основных (базовых) компонент [1–10]:

- 1) двигательная система (ДС);
- 2) сенсорная система (СС);
- 3) интеллектуальная управляющая система (ИУС);
- 4) коммуникационная система (КС).

Все эти компоненты взаимосвязаны, причём в мехатронном роботе они конструкционно интегрированы в одном «теле» (например, в андроидном роботе).

Архитектура мехатронного робота-агента представлена на Рис. 1.

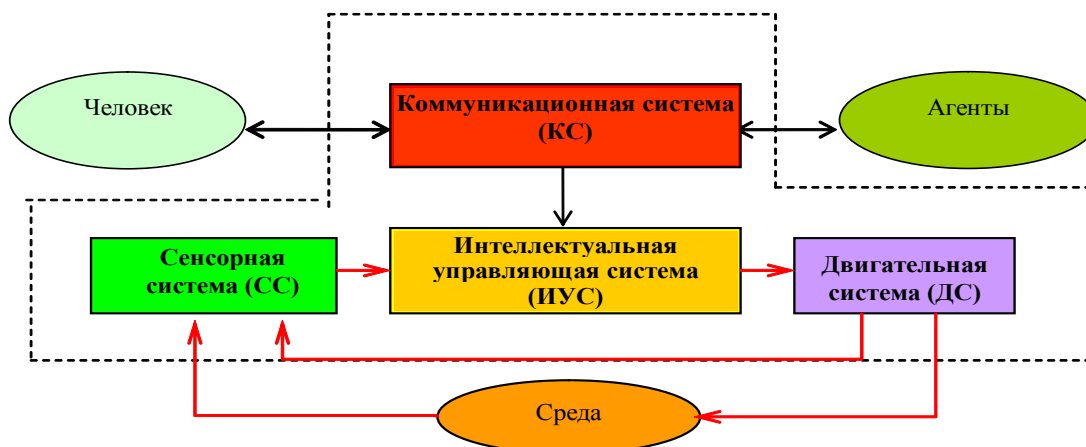


Рис. 1. Архитектура мехатронного робота-агента

Главными особенностями робота как агента МАРС являются [6–10]:

- наличие собственной (локальной) базы данных и знаний в интеллектуальной системе навигации и управления движением;
- наличие средств связи (коммуникации) для обмена данными и знаниями с другими агентами-роботами и людьми.

Агенты-роботы обычно интегрируются в МАРС для совместного достижения общих (глобальных) целей и решения сложных задач. При этом возникают новые проблемы группового управления, навигации и коммуникации, связанные с организацией коллективного поведения роботов.

Принцип действия мульти-агентных систем навигации и управления движением основывается на декомпозиции общей (глобальной) задачи на ряд локальных задач, распределяемых между роботами-агентами, планировании коллективного поведения агентов, координации взаимодействия агентов на основе кооперации, коммуникации и разрешения конфликтных ситуаций.

Мульти-агентные ИУС имеют иерархическую архитектуру и включают в себя следующие уровни [6–10]:

- система планирования, групповой навигации организации коллективного поведения агентов-роботов (стратегический уровень координации группового поведения);

- локальные системы интеллектуального или нейросетевого управления движением роботов как агентов (тактический уровень локального интеллектуального управления).

Задачи стратегического уровня могут возлагаться на специального агента-координатора, а задачи тактического уровня параллельно решаются локальными локальными системами навигации и управления движением роботов как агентов. В результате мульти-агентной навигации и интеллектуального управления значительно увеличивается надёжность, адаптивность и быстродействие МАРС в изменяющейся среде с препятствиями.

2. Задачи и методы мультиагентной навигации и управления движением

Мультиагентное управление позволяет координировать целенаправленную деятельность автономных агентов-роботов, планировать их поведение и взаимодействие, адаптироваться к изменяющейся среде с препятствиями и разрешать конфликты между агентами на стратегическом (супервизорном) уровне управления, навигации и коммуникации, т.е. посредством обмена информацией по каналам связи. Системы управления (СУ), реализующие такой принцип интеллектуального управления и навигации с диалоговым интерфейсом между агентами, будем называть мультиагентными.

Важное значение в теории мультиагентного управления имеют методы обучения и адаптации как отдельных роботов-агентов на тактическом (локальном) уровне управления, так и МАРС в целом на стратегическом (супервизорном) уровне управления. Некоторые из этих методов подробно описаны в [6–10]. Сегодня эти методы и их модификации, использующие модели виртуальной реальности (ВР), позволяют решить следующие задачи интеллектуального управления МАРС:

- оптимальное или адаптивное планирование маршрута движения роботов-агентов в среде с препятствиями с использованием локальной (сенсорной) или глобальной (супервизорной) информации;
- моделирование в виртуальном пространстве агента окружающей среды и поведения других агентов-роботов;
- распознавание в виртуальном пространстве ситуаций и принятие оптимальных решений;
- программирование и адаптивная коррекция движений агентов по спланированным маршрутам;
- адаптивное, интеллектуальное и нейросетевое управление движением агентов.

Столкновение агентов-роботов рассматривается как конфликт, который может возникнуть при коллективном решении общей задачи. Для разрешения подобных конфликтов агенты должны обмениваться между собой информацией посредством “переговоров” по каналам связи.

Архитектура систем планирования, навигации и управления взаимодействием агентов в МАРС при решении общей задачи имеет распределённый (мультиагентный) характер и иерархическую организацию. Она основана на выделении на верхнем (супервизорном) уровне специального агента-координатора, связанного каналами прямой и обратной связи со всеми локальными СУ агентов. Агент-координатор на основе системного анализа и мультиагентной модели ВР осуществляет декомпозицию общей задачи на локальные задачи, их оптимальное распределение между агентами, организацию коллективного поведения и разрешение конфликтов в МАРС.

При проектировании мультиагентных СУ могут использоваться нейросетевые архитектуры. Например, в качестве маршрутизатора в компьютерной сети, связывающей локальные СУ агентов, можно использовать нейронные сети Хопфилда [9]. Эти сети обеспечивают кратчайшие маршруты “переговоров” между агентами и параллельную обработку информации при мультиагентном управлении и навигации в реальном времени.

3. Коллективное движение агентов и разрешение конфликтов

Предположим, что каждый агент может двигаться по своему маршруту, удовлетворяющему граничным условиям, причём скорость и ускорение его движения задаются агентом-координатором на супервизорном уровне управления МАРС. Целью агента-координатора и локальных СУ агентов является скорейшее прохождение всех маршрутов без столкновений для выполнения общего задания.

Для предотвращения столкновений (конфликтов) агент-координатор может передавать по каналам связи команды о временной остановке агентов или об изменении скорости и ускорения их движения в зависимости от сложившейся ситуации. Эта ситуация оценивается агентом-координатором на основе запросов о текущем состоянии каждого робота, которая характеризуется его координатами и скоростью.

Для прогнозирования возможных конфликтов агент-координатор должен знать маршруты и скорости движения роботов на заданное время вперёд или на всём интервале движения. При этом он использует модель виртуальной реальности (ВР) и может заранее рассчитать время и место возможных столкновений роботов. Стратегия

упреждающего разрешения конфликтов заключается в заблаговременном изменении агентом-координатором скорости движения роботов по спланированным маршрутам.

В действительности агент-координатор обычно использует информацию только о текущем положении и скорости роботов, что ограничивает его возможности по прогнозированию и разрешению конфликтов. В зоне возможного столкновения роботов он может изменить скорость их движения (например, затормозить или остановить робот на какое-то время) с помощью команд, передаваемых по каналам прямой связи в локальные СУ. Однако такая стратегия разрешения конфликтов может оказаться неразрешимой или нереализуемой.

Другие способы разрешения конфликтов относятся к тактическому уровню. Они основываются на локальных моделях ВР и на обмене информацией о маршруте и скорости движения между локальными СУ роботов через прямые каналы связи (например, радиоканалы) или через агента-коммуникатора с памятью (например, в виде “доски объявлений” или модели ВР), играющего роль посредника для адресной связи и быстрой передачи данных между агентами.

При этом подходе каждая локальная СУ берёт на себя дополнительные функции агента-координатора. Она использует описанные выше стратегии разрешения конфликтов для автономного принятия каждым роботом индивидуальных решений, адекватных глобальной ситуации. Это значительно усложняет интеллектуальную СУ каждого робота и может сделать невозможным управление МАРС в реальном времени. Для упрощения СУ роботов в рамках такого подхода можно использовать сенсорную информацию о близости робота-агента по отношению к другим роботам и препятствиям, получаемую, например, с помощью дальномеров и фиксируемую в локальной модели ВР.

Значительный интерес для мультиагентного управления движением и навигации представляют также способы разрешения конфликтов на тактическом уровне, основанные на использовании мультиагентных экспертных правил “дорожного движения” и нейросетевых алгоритмов распознавания дорожных ситуаций в виртуальном пространстве. Эти правила должны быть обязательными для автономных СУ роботов как агентов.

4. Структура и расслоение виртуального пространства агента

Виртуальное пространство (ВП) агента - это пространство геометрических, физических и сенсорных координат предметов (объектов) реального окружающего мира. Каждый предмет представляет собой геометрическое тело в трехмерном

реальном пространстве, характеризующееся рядом физических параметров (например, масса или упругость) и сенсорных свойств, связанных с восприятием предмета сенсорной системой агента (цвет, звук, дальность и т. п.). Поэтому моделью предмета в ВП агента является его геометрический образ в локальной декартовой системе координат, его физический образ, а также связанный с ними сенсорный образ в локальной сенсорной системе координат агента. Обычно геометрические образы визуализируются с помощью 2D- или 3D- компьютерной графики, физический образ определяется физическими характеристиками и объективными законами физики, а сенсорные образы определяются и фиксируются сенсорной системой агента в виде результатов наблюдений (измерений) физических свойств предмета агентом, т. е. в форме значений сенсорных координат в ВП агента.

Геометрическая, физическая и сенсорная модели предметов в ВП формируются и хранятся в памяти интеллектуальной СУ агента. Они представляют собой локальную модель ВР. Адекватность этой модели сильно зависит от числа и информативности геометрических, физических и сенсорных координат ВП агента. В частности, она зависит от сенсорной системы агента. Поэтому модели ВР, базирующиеся на геометрических и физических свойствах предметов, а также на их сенсорном отображении, в значительной степени субъективны, т. е. являются агентно-ориентированными.

У агентов-роботов модель ВР может формироваться как априори, так и апостериори. Например, координаты объекта манипулирования или тактильно обнаруженного препятствия можно определить с помощью измерения обобщенных координат манипулятора и решения прямой задачи кинематики. С другой стороны, геометрическую модель среды, т. е. окружающих предметов, можно сформировать либо априори с помощью заданных геометрических характеристик предметов, либо апостериори по результатам сенсорных измерений с помощью телевизионной системы технического зрения или лазерного дальномера агента-робота.

ВП агента естественно расслоить на три подпространства: геометрическое, физическое и сенсорное. Геометрическое ВП в общем случае трехмерно, физическое ВП определяется совокупностью физических свойств предметов, а сенсорное ВП многомодально и определяется имеющимися у агента сенсорами. В свою очередь сенсорное ВП можно расслоить на подпространства, определяемые типом сенсоров, т. е. модальностью измеряемых сигналов (видеосигналы от окружающих предметов, акустические сигналы и т.п.).

Заключение

Предложенные модели ВР могут использоваться в интегрированных системах навигации и управления МАРС, находящих применение в медицине, в космосе и т.п. При этом модели ВР должны учитывать особенности роботов как мехатронных агентов, а также конкретные условия среды, в которой они используются. Некоторые результаты в этом направлении получены в работах [3–10].

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 06–08-01216а и Программ Президиума РАН “GRID”, “Фундаментальные науки – медицине”, “Поддержка инноваций”.

- [1]. Тимофеев А.В. Роботы и искусственный интеллект. – М.: Наука, 1978, 192 с.
- [2]. Тимофеев А.В. Управление роботами. – Л.: Издательство ЛГУ, 1985, 217с.
- [3]. Тимофеев А.В. Адаптивные робототехнические комплексы. – Л.: Машиностроение, 1988, 332 с.
- [4]. Тимофеев А.В., Экало Ю.В. Системы цифрового и адаптивного управления роботов. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1999, 248 с.
- [5]. Timofeev A.V. Intelligent Control Applied to Non-Linear Systems and Neural Networks with Adaptive Architecture. – Journal of Intelligent Control, Neurocomputing and Fuzzy Logic, 1996, v.1, № 1, pp.1-18.
- [6]. А.В.Тимофеев. Мультиагентное и интеллектуальное управление сложными робототехническими системами. – Юбилейный сборник “Теоретические основы и прикладные задачи интеллектуальных информационных технологий”, посвящённый 275-летию РАН и 20-летию СПИИ РАН-СПб., СПИИ РАН, 1999, с.71-81.
- [7]. Timofeev A.V. Neural Multi-Agent Control of Robotic Systems. – Proceedings of International Conference on Informatics and Control (June 9-13, 1997, St. Petersburg), 1997, v. 2, N 3, pp., 537-542.
- [8]. Timofeev A.V. Intelligent Control and Operations Research for Multi-Agent Robot Systems. – International Autonomous Systems. International Scientific Issue. – Karlsruhe, Ufa, USATU, 1998, pp.119-124.
- [9]. Тимофеев А.В., Сырцев А.В. Модели и методы маршрутизации потоков данных в телекоммуникационных системах с изменяющейся динамикой. – Москва: Издательство «Новые технологии», 2005 г., С. 85.
- [10]. Тимофеев А.В. Методы нейросетевого и мульти-агентного управления в робототехнике и мехатронике. – В кн.: Нелинейная теория управления и её приложения: Динамика, управление, оптимизация. – М.: Физматлит, 2003 г., С. 101–126.