



Двухуровневая интеллектуальная система планирования движений мобильных роботов¹

Даринцев О.В., Мигранов А.Б.

Институт механики им.Р.Р. Мавлютова УНЦ РАН, Уфа

Рассматривается двухуровневая интеллектуальная система планирования движений мобильных роботов, в которой поиск траектории осуществляется на двух уровнях — грубой и точной подсистемах планирования. Недостаточная разрешающая способность систем технического зрения на верхнем уровне компенсируется сенсорными системами, размещенными на борту роботов. Предложенный подход обеспечивает снижение требуемых ресурсов бортовых систем и оптимизацию маршрутов движения всех членов группы для достижения групповой цели.

Задачи управления автономными мобильными роботами отличаются недетерминированностью окружающей обстановки, что требует от системы управления способности к принятию решений в условиях неопределенности. Как правило, такие системы подразумевают использование различных методов искусственного интеллекта [1, 2, 3]. С учетом ограниченных вычислительных возможностей бортовых систем управления актуальной также является разработка быстросчетных алгоритмов планирования, которые бы оптимальным образом использовали доступные аппаратные ресурсы. В данной работе рассматривается двухуровневая интеллектуальная система планирования движений мобильных роботов, в которой поиск траектории осуществляется на двух уровнях — грубой и точной подсистемах планирования. Для построения грубой подсистемы используются генетические алгоритмы, для построения точной — нечеткая логика.

В некоторых условиях возможности систем технического зрения (СТЗ) не позволяют обеспечить расчет безопасных траекторий движения алгоритмами планирования. Это может быть связано с малыми габаритами объектов рабочего пространства относительно габаритов роботов, нестандартным соотношением геометрических размеров объектов, а также в условиях больших по площади рабочих зон. Когда разрешающей способности СТЗ

недостаточно для нахождения алгоритмами управления безопасных траекторий движения, планирование движений такого типа может быть отнесено к «грубому» планированию или планированию в «большом». Такие алгоритмы будут отличаться быстросчетностью, а также способностью обеспечивать максимально возможную скорость и оптимальность траектории движения.

В то же самое время алгоритмы управления мобильными роботами должны реализовывать и точное планирование, т.е. планирование в малом — перемещение в рабочей зоне с максимально возможной безопасностью относительно препятствий и других роботов. При этом недостаточная разрешающая способность СТЗ может компенсироваться сенсорными системами, размещенными на борту роботов. Для их реализации могут быть выбраны ультразвуковые датчики определения расстояния. Данный вид датчиков является наиболее подходящим решением для точного планирования. При определении положения и удаленности объекта почти не существует материалов, которые не могут быть обнаружены ультразвуковыми датчиками (УД). Ультразвуковые датчики не подвержены воздействиям окружающей среды и позволяют проводить измерения в запыленных, задымленных помещениях, а также в помещениях с высоким уровнем шума. Другим их достоинством для точного планирования является возможность измерять расстояние до объектов любой формы, цвета и размера, а также выполненных из различных материалов.

¹Работа выполнена при финансовой поддержке Программы № 1 Отделения ЭММПУ РАН «Научные основы робототехники и мехатроники».

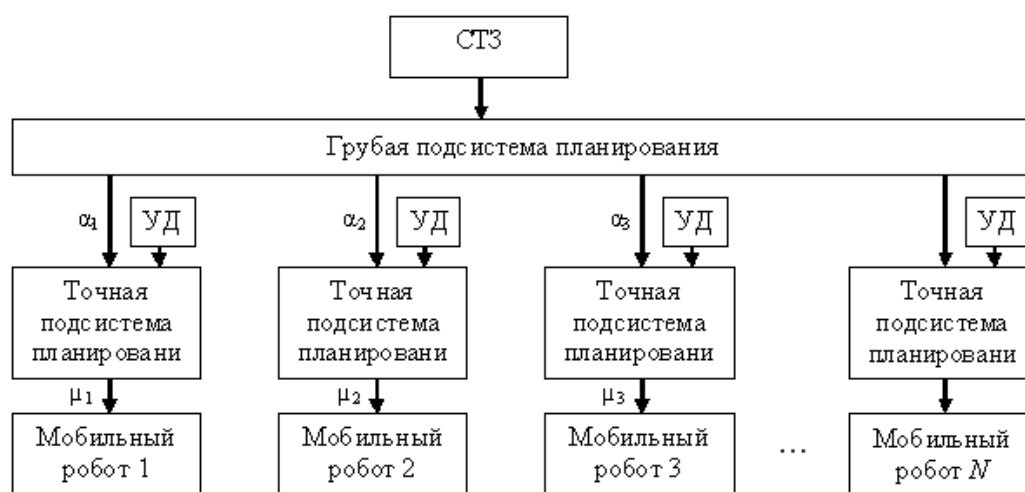


Рис. 1. Архитектура системы управления мобильными роботами на основе двухуровневой интеллектуальной системы планирования

Отметим некоторые преимущества построения предложенной двухуровневой интеллектуальной системы планирования. Поскольку грубая подсистема планирования может быть реализована на базе централизованных алгоритмов управления, большая часть вычислительной нагрузки будет приходиться на стационарную рабочую станцию. Применение на этом уровне, к примеру, генетических алгоритмов для реализации мульти-агентного управления согласованным движением нескольких роботов, не окажет дополнительной вычислительной нагрузки на бортовые системы при увеличении количества действующих агентов. Таким образом, основной задачей центрального узла управления является снижение требуемых ресурсов бортовых систем и оптимизация маршрутов движения всех членов группы для достижения групповой цели.

Задача, решаемая при точном планировании каждым отдельным роботом, будет связана с обеспечением безопасности только своей траектории с учетом информации, получаемой от бортовой сенсорной системы. Поскольку подсистема точного планирования реализуется на базе нечетких алгоритмов, поиск решения будет осуществляться быстро и в реальном масштабе времени, чему способствуют такие преимущества нечетких алгоритмов, как низкая требовательность к аппаратным ресурсам в сочетании с высокой скоростью отклика, как у классических регуляторов [4].

Архитектура системы управления мобильным роботом на основе предложенной двухуровневой интеллектуальной системы планирования показана на рис. 1.

Блок грубой подсистемы планирования в соответствии с информацией, получаемой с СТЗ о конфигурации рабочей зоны, формирует целевые оптимальные направления α_i движения каждого робота. Блоки точной подсистемы планирования, используя поступившую точную информацию о расположении препятствий в ближней локации и целевое направление α_i , формируют уже безопасное направление движения μ_i .

Рассмотрим подробнее реализацию точной подсистемы планирования (рис. 2). Бортовая сенсорная система в соответствии с положением мобильного робота определяет точное расположение препятствий и передает на вход сумматора угол a между текущим направлением движения робота и препятствием. На другой вход сумматора поступает целевое направление α_i движения робота, расчет которого проведен грубой подсистемой планирования. Разность b между этими сигналами подается на вход нечеткого контроллера. Также на вход нечеткого регулятора поступает сигнал обратной связи — информация о целевом направлении движения μ_i . Целевое направление — это вектор безопасного направления движения от текущего расположения робота до целевой точки. Используя поступившую информацию о расположении препятствий и целевом направлении, нечеткий регулятор вычисляет желаемую линейную скорость V и угловое ускорение ω мобильного робота. В соответствии с разработанной кинематической моделью вычисляются текущие координаты положения x, y и ориентация ϕ мобильного робота в мировой системе координат. Эта информация поступает на блок определения целевого направления, где происходит вычисление необходимого курса движения.

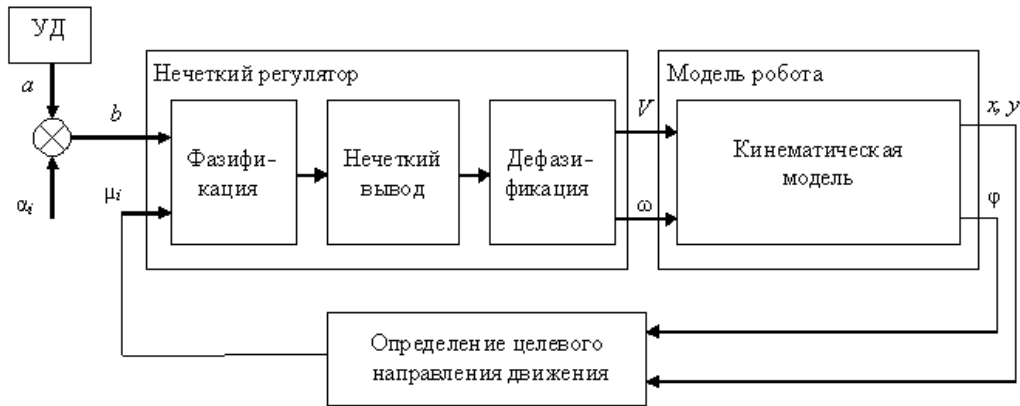


Рис. 2. Реализация точной подсистемы планирования

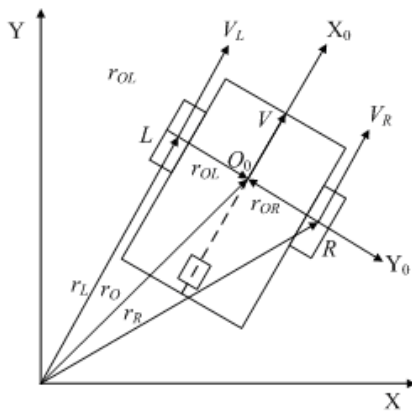


Рис. 3. Кинематическая схема мобильного робота

Поскольку движение робота осуществляется в горизонтальной плоскости, то при построении кинематической модели робота достаточно рассмотреть плоский случай (рис. 3). В точках L и R расположены колеса, оси вращения которых совпадают с отрезком LR длины l . Свяжем с мобильным роботом систему координат $O_0X_0Y_0$ и расположим точку O_0 в середине отрезка LR и направим ось O_0 перпендикулярно LR в направлении движения. Тогда положение основания робота, как твердого тела, задается тройкой чисел ϕ, x, y , где ϕ — угол между осями X и X_0 ; x, y — координаты точки O_0 в абсолютной системе координат OXY .

Положение точек робота O_0, L и R в абсолютной системе соответствует радиус-векторам r_O, r_L и r_R . При этом положение точки O_0 может быть получено из следующих выражений:

$$r_O = r_R + r_{OR}, \quad r_O = r_L + r_{OL}. \quad (1)$$

Из кинематики плоского движения известно, что скорость движения любой точки некоторого

твердого тела может быть представлена в виде:

$$V_A = V_O + \omega \times r_{OA}, \quad (2)$$

где V_A — скорость поступательного движения произвольной точки A ; V_O — скорость поступательного движения полюса твердого тела; ω — скорость вращательного движения твердого тела относительно полюса; r_{OA} — радиус-вектор, определяющий положение точки.

Таким образом, скорость движения мобильного робота может быть получена из следующих выражений:

$$\begin{cases} V = V_R + \omega \times r_{OR}, \\ V = V_L + \omega \times r_{OL}. \end{cases} \quad (3)$$

Выполнив некоторые элементарные преобразования, при условии, что $r_{OR} = -r_{OL}$, получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \omega = \frac{1}{l}(V_R - V_L), \\ V = \frac{1}{2}(V_R + V_L). \end{cases} \quad (4)$$

Если теперь ввести в рассмотрение координаты x, y, ϕ , то:

$$\begin{cases} \dot{x} = V \cdot \cos \phi, \\ \dot{y} = V \cdot \sin \phi, \\ \dot{\phi} = \omega. \end{cases} \quad (5)$$

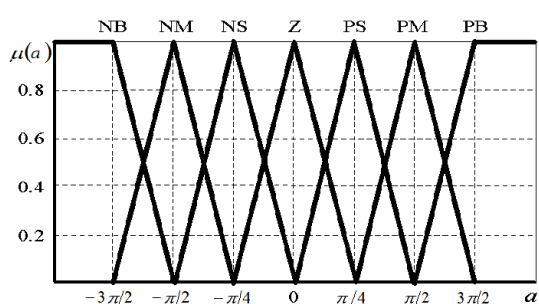
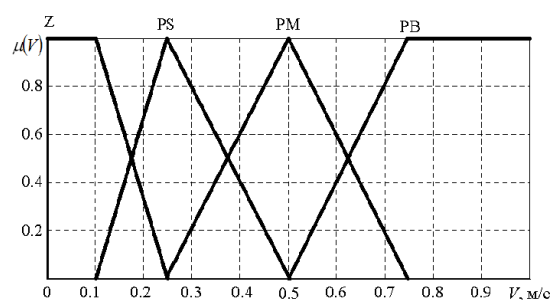
Подставив (4) в соотношение (5) получим:

$$\begin{cases} \dot{x} = \frac{1}{2}(V_R + V_L) \cos \phi, \\ \dot{y} = \frac{1}{2}(V_R + V_L) \sin \phi, \\ \dot{\phi} = \frac{1}{l}(V_R - V_L). \end{cases} \quad (6)$$

Соотношения (6) представляют собой систему нелинейных дифференциальных уравнений относительно фазового вектора с компонентами (x, y, ϕ) .

Таблица 1. Значения отдельных термов лингвистических переменных

Символическое обозначение	Значения термов-множеств	
NB	Negative Big	Отрицательное большое
NM	Negative Middle	Отрицательное среднее
NS	Negative Small	Отрицательное малое
Z	Zero	Нуль
PS	Positive Small	Положительное малое
PM	Positive Middle	Положительное среднее
PB	Positive Big	Положительное большое

Рис. 4. График функции принадлежности лингвистической переменной α Рис. 5. График функции принадлежности лингвистической переменной V

Скаляры V_R и V_L , заданные тем или иным образом (как функции времени или как функции фазовых координат), определяют движение платформы. Таким образом, соотношения (6) можно рассматривать как кинематическую модель мобильного трехколесного робота. Линейная и угловая скорости робота определяются из соотношения (4).

Параметры ω и V в выражении (4) являются выходными сигналами нечеткого регулятора. Направление движения мобильного робота ω — это выходная переменная, определяющая необходимое угловое смещение робота, при котором достигается достижение цели. Входным и выходным сигналам соответствуют логико-лингвистические переменные, значения которых определяются термами-множествами (табл. 1).

Определим функции принадлежности для всех входных и выходных переменных системы.

Рассмотрим, как определяются функции принадлежности на примере входной α и выходной V переменных системы.

Входная переменная α (свободные зоны). Термы: СЗАДИ (NVB), СЗАДИ-СЛЕВА (NB), СЛЕВА (NM), ПРЯМО-СЛЕВА (NS), ПРЯМО (Z), ПРЯМО-СПРАВА (PS), СПРАВА (PM), СЗАДИ-СПРАВА (PB), СЗАДИ (PVB) (рис. 4).

Выходная переменная V (линейная скорость мобильного робота). Термы: нулевая (Z); малая (PS); средняя (PM); большая (PB) (рис. 5).

На следующем этапе строится база знаний нечеткой системы, состоящая из продукционных правил и отражающая зависимость между входными и выходными термами-множествами. Для разрабатываемой нечеткой системы выбор нужного правила будет определяться угловым отклонением микроробота от цели и наличием свободных областей в рабочей зоне.

Всего в базе правил определено 72 правила — по девять вложенных правил для каждого из восьми значений углового отклонения робота от цели. Далее, в качестве примера, показана структура базы правил управления для ситуации, когда цель находится перед микророботом:

ЕСЛИ «Цель = Прямо» **ТО**

ЕСЛИ «Свободно = Прямо» **ТО** «Скорость = Малая» **И** «Направление = Прямо»

ИНАЧЕ ЕСЛИ «Свободно = Прямо-Слева» **ТО** «Скорость = Нулевая» **И** «Направление = Прямо-Влево»

ИНАЧЕ ЕСЛИ «Свободно = Прямо-Справа» **ТО** «Скорость = Нулевая» **И** «Направление = Прямо-Вправо»

ИНАЧЕ ЕСЛИ «Свободно = Слева» **ТО** «Скорость = Нулевая» **И** «Направление = Влево»

ИНАЧЕ ЕСЛИ «Свободно = Справа» **ТО** «Скорость = Нулевая» **И** «Направление = Вправо»

ИНАЧЕ ЕСЛИ «Свободно = Сзади-Слева» **ТО** «Скорость=Нулевая» **И** «Направление = Назад-Влево»

ИНАЧЕ ЕСЛИ «Свободно = Сзади-Справа» **ТО** «Скорость=Нулевая» **И** «Направление = Назад-Вправо»

ИНАЧЕ ЕСЛИ «Свободно = Сзади» **ТО** «Скорость = Нулевая» **И** «Направление = Назад»

ИНАЧЕ «Скорость = Нулевая» **И** «Направление = Прямо»

Аналогично строятся базы нечетких правил управления для других возможных ситуаций расположения цели относительно робота (цель перед роботом и слева, цель перед роботом и справа, цель слева, цель справа и т.д.). Такое выделение отдельных правил в зависимости от конфигурации рабочего пространства позволяет реализовывать точное планирование на основе данных с бортовых сенсорных систем. Также, как видно из структуры базы правил, в первую очередь выполняется поиск безопасного направления движения по переменной «цель» в ближней окрестности робота. Применение на верхнем уровне системы планирования алгоритмов (к примеру, на базе генетических подходов [5]) для реализации мультиагентного управления согласованным движением нескольких роботов не оказывает дополнительной вычислительной нагрузки на бортовые системы, что позволяет эффективнее использовать их аппаратные ресурсы.

Рассмотренный подход в будущем предполагается использовать как для управления группа-

ми, так и коллективами мобильных роботов. Планируется провести сравнительный анализ различных подходов мультиагентного управления для выбора наиболее эффективного алгоритма, который возможно использовать на верхнем уровне системы планирования.

Список литературы

- [1] Ziemke T. Adaptive behavior in autonomous agents // Presence. 2003. 7(6): pp. 564–587.
- [2] Michail G. Lagoudakis. Mobile Robot Local Navigation with a Polar Neural Map // The Center for Advanced Computer Studies University of Southwestern Louisiana, 1999.
- [3] Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Использование нейронной карты для планирования траектории мобильного робота // Искусственный интеллект. ПИИ МОН і НАН України «Наука і Освіта». 2009. № 3. С. 300–307. ISSN 1561-5359.
- [4] Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Планирование траекторий движения микроробота на базе нечетких правил // Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы (ИИ–2011): материалы Межд. науч.-техн. конфер. Донецк: ППШ «Наука і Освіта». 2011. С. 228–232. ISBN 978-966-7829-49-0.
- [5] Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Система планирования движения группы мобильных микророботов на основе генетических алгоритмов // Известия РАН. Теория и системы управления. 2007. № 3. С. 163–173.