

УДК 681.3

А.А. Большаков, М.Ф. Степанов, А.М. Степанов, Ю.А. Ульянина

ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

Рассматриваются вопросы построения интеллектуальной системы планирования траектории движения мобильного робота. Предлагается многоуровневая система планирования на основе представления топологии пространства в виде нейронной сети.

Интеллектуальные роботы, нейронные сети, планирование траектории

A.A. Bolshakov, M.F. Stepanov, A.M. Stepanov, J.A. Uljanina

PLANNING OF A TRAJECTORY OF MOVEMENT OF THE MOBILE ROBOT

Questions of construction of intellectual system of planning of a trajectory of movement of the mobile robot are considered. The multilevel system of planning is offered on the basis of representation of topology of space as a neural network.

Intellectual robots, neural network, planning of a trajectory

Современные мобильные роботы способны не только выполнять команды, поступающие из центра управления, регламентирующие параметры движения (азимут, скорость, ускорение), но и самостоятельно планировать траекторию достижения целевого состояния, учитывая необходимость также решать задачи обхода препятствий. При этом ориентация в пространстве обеспечивается навигационной системой, использующей GPS/ГЛОНАСС, дополненной средствами системы ориентации: технического зрения, дальномером, инфракрасными датчиками и т.д. Совокупность этих средств обеспечивает мобильный робот достаточно объективной информацией о текущем местонахождении. Достижение целевого положения осуществляется по некоторой траектории, для предварительного планирования которой необходима информация о внешней среде – пространстве, в котором будет производиться движение. Эти сведения доставляет карта местности, которая может быть получена из различных источников. Однако такая карта не может учитывать возможные изменения, обусловленные перемещением мобильных устройств (транспорт, люди), природных явлений (осадки), антропогенного воздействия на ландшафт, сезонных изменений природы и др. Тем не менее общее представление о местности, доставляемое картой, вполне достаточное, для осуществления обобщённого (предварительного) планирования траектории движения.

С учётом указанных особенностей ситуации целесообразно задачу планирования действий декомпозировать на следующие уровни планирования: 1) стратегическое; 2) тактическое; 3) детальное.

Стратегическое планирование призвано построить укрупнённую схему (замысел) будущей траектории, которая будет уточнена на этапе тактического планирования с использованием актуальной информации, полученной от автономной системы ориентации.

Отличительной особенностью стратегического планирования является использование менее детальной карты местности, чем при тактическом планировании. На этом этапе в качестве препятствий могут рассматриваться достаточно большие объекты, например, здание, болото, крутой горный склон и т.д. В таких условиях размеры стратегической карты могут стать приемлемыми для осуществления планирования траектории непосредственно бортовым вычислителем, вычислительные возможности которого, разумеется, не слишком велики.

Детальность представления тактической карты определяется решаемыми задачами, а также возможностями навигационной системы, габаритами робота и т.д. На этапе детального планирования построенная траектория дополняется и сглаживается, учитывая особенности реализации транспортного механизма мобильного робота, к которым относятся, например, наименьший радиус поворота, минимальные и максимальные значения ускорения и скорости движения, максимально допустимая крутизна склона, по которому возможно движение и т.д.

Многоэтапное планирование предполагает возможность совместимости результатов работы на каждом этапе, что не каждый алгоритм планирования может обеспечить.

На этапе стратегического планирования целесообразно применять алгоритм, названный «лучевым», обеспечивающий необходимую совместимость с алгоритмами тактического планирования, например, волновые алгоритмы на базе искусственной нейронной сети [1]. Наибольшая совместимость при этом достигается в случае представления информации в полярной системе координат, наиболее естественной для автономной системы ориентации.

Рассмотрим для простоты задачу планирования траектории движения на плоскости. Пусть также в качестве внутреннего представления карты местности используется сеть с равноотстоящими узлами различной топологии (см. рис. 1).

Каждый узел сети, отражающей карту местности, снабжается координатами. При двумерном представлении карты это декартовы координаты, помеченные на рис. 1 буквами x и y .

Пусть исходная вершина A (исходное положение мобильного робота) задаётся координатами: $A(x_A, y_A)$.

Пусть целевая вершина B (целевое положение мобильного робота) задаётся координатами: $B(x_B, y_B)$.

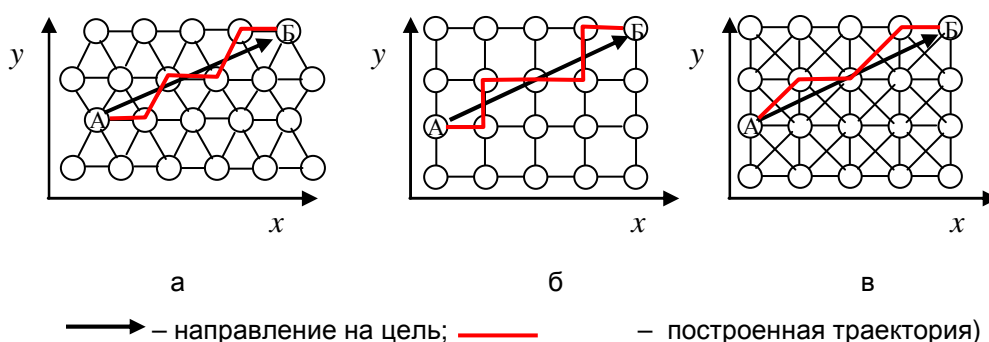


Рис. 1. Иллюстрация лучевого алгоритма (A – исходная позиция, B – целевая позиция; с различными видами топологии сетевого представления карты местности: а – гексагональная; б – декартова; в – комбинированная

Очередную (текущую) вершину T , рассматриваемую в качестве кандидатуры для включения в искомый путь (траекторию движения) будем описывать координатами $T(x_i, y_i)$.

Отбор вершин сети в искомый путь из исходной вершины $A(x_A, y_A)$ в целевую $B(x_B, y_B)$ осуществляется в соответствии со следующим алгоритмом:

1. Построение луча из исходной вершины $A(x_A, y_A)$ в целевую $B(x_B, y_B)$. Луч описывается уравнением вида $\frac{y - y_A}{y_B - y_A} = \frac{x - x_A}{x_B - x_A}$ или уравнением с угловым коэффициентом $y = k \cdot x + b$, где $k = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}$, $b = y_A - k \cdot x_A$ или нормированным уравнением $x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta - p = 0$, где $\cos \theta = A \cdot \mu$, $\sin \theta = B \cdot \mu$, $p = -C \cdot \mu$, $\mu = -\text{sign}C / \sqrt{A^2 + B^2}$, $A = y_B - y_A$, $B = x_B - x_A$, $C = y_A(x_B - x_A) - x_A(y_B - y_A)$.

2. Принять за текущую точку $T_i(x_i, y_i)$ траектории исходную вершину A , т.е. $x_i = x_A$, $y_i = y_A$.

3. Выделить для T_i подмножество T_i^k непосредственных соседних вершин $T_j(x_j, y_j)$, для которых выполняются условия $x_B - x_j < x_B - x_i$, $y_B - y_j < y_B - y_i$.

4. Для каждого элемента множества T_i^k вычислить расстояние d_{ij} до луча по формуле: $d_{ij} = x_j \cdot \cos \theta + y_j \cdot \sin \theta - p$.

5. Выбрать среди элементов T_i^k вершину с наименьшим значением d_{ij} .

6. Если выбранная вершина является целевой вершиной, то завершить работу.

7. Иначе добавить выбранную вершину в построенный фрагмент траектории и затем принять её за текущую вершину. Идти к пункту 2 настоящего алгоритма.

На уровне тактического планирования траектории движения мобильного робота одним из наиболее перспективных направлений является использование нейросетевых алгоритмов [1]. Однако их реализация не всегда оказывается достаточно эффективной, что весьма важно, учитывая необходимость их исполнения средствами бортовых вычислителей.

В частности, предлагаемый в [1] подход базируется на применении волнового алгоритма распространения сигнала в разновидности искусственной нейронной сети Хопфилда. При этом в отсутствие препятствий алгоритм затрачивает на построение траектории N шагов, где N – количество дуг между узлами сети, которые входят в искомый путь. В силу волновой природы алгоритм гарантирует нахождение пути наименьшей длины при его наличии. Особенности функционирования автономного мобильного робота в условиях быстро меняющейся оперативной обстановки, поступления целеуказаний, изменения состояния самого мобильного робота, требуют более оперативного решения задачи планирования траектории достижения цели.

В работе нейронная сеть в виде аналоговой сети Хопфилда используется не только для хранения информации о состоянии среды (характер местности, с учётом её возможной проходимости, препятствия, целевое положение, текущее положение), в которой должен функционировать мобильный робот, как в [1], но и в качестве первичного планирования и внутреннего представления будущей траектории движения.

Концептуально нейронная сеть представляет отражение декартова представления карты местности. При этом используется разбиение пространства на ячейки, проекции которых на горизонтальную плоскость представляют собой квадраты одинакового размера. В зависимости от характера местности (твёрдое дорожное покрытие, косогор, болотистая местность, река и др.), сопоставляемой с конкретной ячейкой, последней приписывается числовая величина в диапазоне от 0.0 до 1.0, характеризующая степень проходимости данного участка местности мобильным роботом (0.0 – полностью непроходимый; 1.0 – полностью проходимый). Структурно нейронная сеть состоит из совокупности искусственных нейронов, каждый из которых сопоставляется с соответствующей ячейкой карты местности. В целях обеспечения возможности осуществления планирования траектории движения мобильного робота каждый нейрон, сопоставленный с данной ячейкой пространства, связан синаптическими связями с

нейронами, сопоставляемыми с соседними ячейками пространства. В дополнение к традиционным для декартова представления горизонтальным и вертикальным связям, допускаются диагональные связи. Вводится мера длины связи. При этом длины горизонтальных и вертикальных связей условно задаются единичными, а диагональных – по теореме Пифагора, т.е. $\sqrt{2}$. Учитывая декартовы координаты на карте местности, а следовательно, и ортогональное представление топологии нейронной сети с декартовыми координатами нейронов-ячеек, будем описывать элементы нейронной сети (рис. 2) следующим образом: n – количество строк с ячейками на карте местности; m – количество ячеек в каждой строке карты местности; n_{ij} – искусственный нейрон, сопоставленный с j -й ячейкой, расположенной в i -й строке карты местности; x_{ij} – вектор входных сигналов нейрона n_{ij} ; w_{ij} – вектор весовых коэффициентов нейрона n_{ij} ; z_{ij} – начальные условия нейрона n_{ij} ; θ_{ij} – смещение нейрона n_{ij} ; $\vartheta_{ij} = z_{ij} + w_{ij}x_{ij} + \theta_{ij}$ – суммарный входной сигнал нейрона n_{ij} ; $f(\vartheta)$ – активационная функция нейрона n_{ij} , в качестве которой используется функция гиперболического тангенса; $y_{ij} = f(\vartheta_{ij})$ – выходной сигнал нейрона n_{ij} .

Как и всякий нейросетевой алгоритм, предлагаемый двунаправленный метод планирования существенно зависит от значений весовых коэффициентов синаптических связей нейронов сети. Исследования алгоритма осуществлялись с помощью программного средства, обеспечивающего необходимую визуализацию результатов планирования. При этом допускается гибкая настройка параметров алгоритма, а также топологии сети, размещения препятствий, исходного (рис. 3) и целевого (рис. 4) положений. Исследования алгоритма осуществлялись с помощью программного средства, обеспечивающего необходимую визуализацию результатов планирования. При этом допускается гибкая настройка параметров алгоритма, а также топологии сети, размещения препятствий, исходного и целевого положений. На рис. 5 приведён результат решения задачи планирования в условиях наличия сложных вариантов препятствий, представленных на рисунке закрашенными клетками.

Рисунок дополнен линиями, демонстрирующими построенные фрагменты траектории в прямом и обратном направлении.

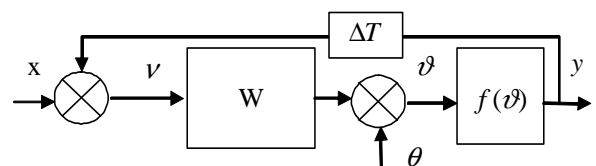


Рис. 2. Структура нейрона

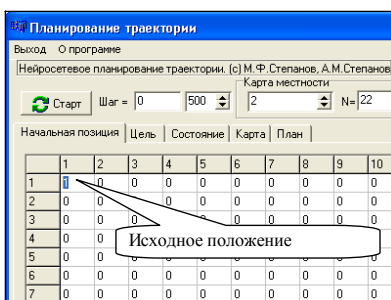


Рис. 3. Задание

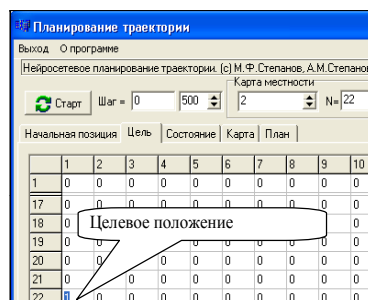


Рис. 4. Задание целевой

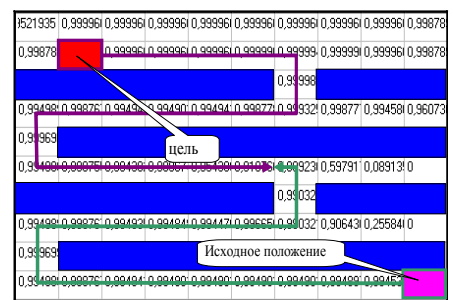


Рис. 5. Результат решения задачи

начальной позиции

позиции

двунаправленным методом
планирования

Встреча траекторий, как и предполагалось, осуществилась на середине планируемого пути, что, свидетельствует уменьшении требуемых шагов поиска (в два раза).

ЛИТЕРАТУРА

1. Даринцев О.В. Использование нейронной карты для планирования траектории мобильного робота / О.В. Даринцев, А.Б. Мигранов // Искусственный интеллект. 2009. № 3. С. 300 - 307.

2. Чернухин Ю.В. Нейросетевая система навигационной безопасности транспортных объектов в наземной, подводной, надводной и воздушной средах / Ю.В.Чернухин, С.Н. Писаренко, А.А. Приемко // Искусственный интеллект. 2006. № 3. С. 331-339.

Большаков Александр Афанасьевич –
доктор технических наук, декан факультета электронной техники и приборостроения, заведующий кафедрой «Системотехника», профессор кафедры «Системы искусственного интеллекта» Саратовского государственного технического университета

Степанов Михаил Федорович –
доктор технических наук, профессор кафедры «Техническая кибернетика и информатика» Саратовского государственного технического университета

Степанов Андрей Михайлович –
аспирант кафедры «Системы искусственного интеллекта» Саратовского государственного технического университета

Ульянина Юлия Александровна –
студентка Саратовского государственного технического университета

Статья поступила в редакцию 01.11.10, принята к опубликованию 15.11.10